

微型桩组合抗滑结构在滑坡地质灾害治理工程中的应用

宋允

核工业二九〇研究所 地质环境中心

DOI:10.32629/gmsm.v9i1.2407

[摘要] 微型桩具有地层适应性强、桩位布置灵活、施工作业面小扰动小、施工速度快、桩体发挥作用所需时间短等优点,被广泛应用于地基处理、基坑支护等工程中。2018年4月某地发生大型滑坡地质灾害,经过削坡减载、挂网喷砂等应急抢险后,于2019年5月再次发生滑动。由于滑坡体临近职工宿舍楼,该大型滑坡地质灾害具有时间紧,任务重,施工空间狭小,对施工噪音控制要求高,威胁人口多等特点。微型桩组合抗滑结构成为该滑坡地质灾害应急抢险治理工程的首选。通过微型桩组合抗滑结构的合理运用,实现了消耗较少的人力物力,经济高效的治理施工,达到了快速防灾减灾的目的。

[关键词] 微型桩; 组合抗滑结构; 边坡加固; 加固机理; 稳定性分析; 土质滑坡

中图分类号: TV223.2+2 **文献标识码:** A

Application of micro pile combination anti-slip structure in landslide geological disaster management project

Yun Song

Geological Environment Center, Institute of nuclear industry

[Abstract] Micro piles have the advantages of strong stratification adaptability, flexible pile arrangement, small disturbance of construction work surface, fast construction speed and short time required for piles to function, and are widely used in foundation treatment, foundation pit support and other projects. In April 2018, a large-scale landslide geological disaster occurred in a certain place, and the slide occurred again in May 2019 after emergency rescues such as cutting slope load reduction and hanging net spray. Because the landslide is close to the staff dormitory building, the large-scale landslide geological disaster has the characteristics of time constraint, heavy task, narrow construction space, high requirements for construction noise control and threat to the population. The micro pile combination anti-slip structure has become the first choice of the landslide geological disaster emergency rescue and management project. Through the rational application of the micro pile combination anti-slip structure, the paper realizes the consumption of less human and material resources, the cost-effective management and construction, and achieves the goal of rapid disaster prevention and mitigation.

[Key words] Micro-Piles; Slope Reinforcement; Reinforcement mechanism; Stability Analysis; Soil Landslide

前言

微型桩组合抗滑结构指桩径小于300mm的小型抗滑桩和桩顶连系梁组合抗滑,与其他支挡结构比较,微型桩组合抗滑结构具有以下特点:

(1) 利用桩顶连系梁可形成空间框架结构体系,充分发挥桩间土的作用,并与桩间土体一起形成类似复合型挡土墙结构以支挡其后土体^[1],具有刚度较大变形较小的特点;

(2) 微型桩具有一般抗滑桩的作用,桩端嵌入潜在滑动面以下的稳定地层足够深度,可以承受较大剪切力^[2]。工程量小,施工安全性高等特点;

(3) 微型桩施工设备小巧、桩位布置灵活、所需要的施工场地较小,对现场环境影响小,经济性好。

微型桩具有以上特点,应用于地基基础加固处理、建筑纠偏、地基不均匀沉降事故处理、基坑支护、滑坡地质灾害治理工程中(尤其是滑坡应急抢险中具有明显优势)中。

1 微型桩组合抗滑结构抗滑能力计算分析

微型桩组合抗滑结构分为单根微型桩、多根微型桩、桩顶连系梁三个部分,对于下滑岩土体的下滑力起到抗滑的作用,下面对其抗滑能力进行分析计算,三个部分和组合分别满足抗滑要求。

1.1 微型桩组合抗滑结构计算假设

(1) 滑坡推力沿滑面以上桩体的分布形式为矩形均匀分布;

(2) 由于微型桩长细比较大, 嵌固较深, 进行高压注浆处理后, 桩端按固定端处理;

(3) 考虑桩前土体的弹性抗力, 但不大于剩余抗滑力或被动土压力。

(4) 同排各单桩受力相同, 并且为保证设计安全性, 将每排桩的受力全部按照前排桩的受力来进行考虑^{[3][4]};

(5) 整个微型桩结构体系共同作用, 且变形同步一致^[4]。

1.2 微型桩单桩抗剪理论分析

微型桩单桩支护结构可以看作是抗弯刚度较小的柔性抗滑桩, 其受力特点与普通抗滑桩相同, 单桩的破坏主要是发生在滑面处的剪切破坏, 一般不会绕某点倾覆^[5]。

抗剪切能力来自桩身内钢管的抗剪切能力及桩身砂浆的抗剪切力。通过微型桩与压力注浆技术的结合, 可以加固微型桩周围的滑坡岩土体, 使微型桩体系与周围岩土体形成一个整体, 产生整体抵抗下滑力的效果, 在一定程度上提高了微型桩的抗剪强度^[6]。

因微型桩长细比大, 其抗弯能力相对较差, 滑动面处的微小偏移, 就能造成桩顶较大位移, 所以坡顶位移量是反映微型桩抗剪能力的一个重要指标。

1.3 微型桩组合结构体系内力计算

以常用两排微型桩+桩顶连系梁组合结构进行组合结构体系内力计算, 针对微型桩组合抗滑结构采用等效截面法进行计算, 计算过程见实例。

常用微型桩尺寸选择:

采用Q305, 1D108×8mm热轧无缝钢管, 高压注M15水泥砂浆成Φ130mm灌注桩。水灰比0.45:1, 注浆压力0.5~1.5MPa。桩距、排距为1.5m, 桩长8.5~10.0m, 梅花形布置, 共两排, 桩顶设连系梁, 为防止雨水下渗, 冠梁顶覆100mm厚C20素砼, 布置方式如图1。

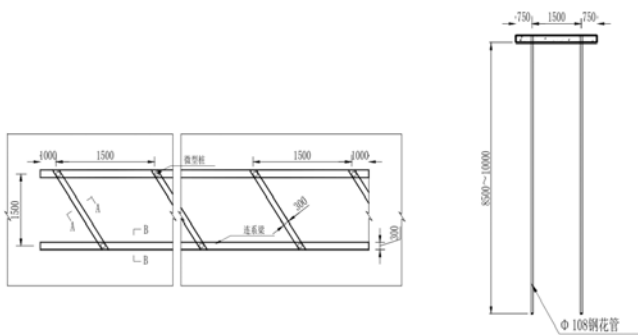


图1 微型桩布置示意图

1.4 微型桩组合结构与传统抗滑桩抗滑对比分析

微型桩组合抗滑结构与传统抗滑桩相比, 抗滑效果更好, 施工简便, 所需工作面较小, 节约人力物力, 表1为微型桩组合抗滑结构与传统抗滑桩的全方位对比分析。

表1 微型桩组合结构与传统抗滑桩抗滑对比表

方案名称	造价(万元/治理方量)	工期	稳定状态	所需施工面
微型桩	40万/m ³	2个月	稳定	200m ²
传统桩	120万/m ³	6个月	稳定	500m ²

2 微型桩组合抗滑结构的应用实例

2.1 地质灾害发生概况

2018年4月受持续强降雨的影响, 某地发生滑坡地质灾害, 导致2座工厂宿舍楼后挡土墙部分垮塌, 宿舍楼南部墙壁、防盗网等设施损坏, 工厂停产。2019年5月, 其再次发生滑坡地质灾害, 经临时抢险加固, 滑坡暂时稳定。但持续降雨后, 地表出现最大160mm位移量, 临时护坡表面出现大面积塌陷失稳现象, 需对滑坡地质灾害进行紧急治理。

2.2 大型滑坡地质灾害的地质背景

该滑坡所在地属丘陵地貌, 相对高差约20~40m, 边坡自然坡度为15~30° (图2), 地貌成因类型以残坡积为主。该区主要出露地层有石炭系下统测水组(C_{1c})和第四系(Q₄)。

滑坡体以第四系地层组成, 其含粉质粘土层和滑带粘土层。其中滑带粘土层呈褐黄色、土黄色, 软塑状, 黏韧性较差, 土质不均匀, 含有10%风化砂粒碎石, 滑坡体连续分布, 弱变形区未见。层厚0.30~1.10m, 平均厚0.50m。

滑床以泥岩和强风化粉砂质泥岩为主, 两层岩已经全部风化, 在裸露状态下易崩解, 遇水易泥化。岩体碎块状, 粘结性差, 密实, 岩性不均匀, 大部分呈碎块状, 局部风化强烈呈砂土状, 较松散。局部夹有新鲜碎块或短柱状岩芯, 断口手搓可碎, 手搓呈粉砂状, 有砂感, 天然状态单轴抗压强度4.5MPa, 为极软岩。

滑坡区及附近区域地表水贫乏、岩石风化强烈, 粉质粘性土、强风化岩层泥岩、泥质粉砂遇水易软化、泥化, 地形地貌条件较易形成汇水区, 大气强降水是引起滑坡的重要外因。

2.3 滑坡发育特征

滑坡边界受地形控制, 滑坡后缘到最后一排拉裂缝位置; 两侧则以弧形裂缝延伸方向, 结合地形和覆盖层厚度确定边界; 前缘在挡土墙上部坡度由缓变陡的位置为界, 圈出滑坡范围。后缘海拔标高为123~129m, 前缘海拔标高107m, 挡土墙坡脚海拔102m, 相对高差最大约为27m。滑坡体后缘形成了高约0.5m陡坎, 自然坡度25°~35°, 主滑方向10°。

滑坡体长约56m, 宽约72m, 平面面积约3000m², 现状层厚5.20~7.50m, 平均厚5.81m。体积约1.9万m³, 滑坡体前缘距离宿舍楼仅3m, 滑坡体已越过原有挡土墙, 堆积于宿舍楼墙角处, 施工空间极为狭窄。

2.4 滑坡地质灾害成因分析

滑坡体属于丘陵地貌, 坡面呈凹型, 坡面降水汇流入渗, 宿舍楼修建时边坡支挡结构的不合理设计破坏了滑坡体原有结构和排水通道, 使得滑坡体排水不畅; 对山体进行切坡, 改变了边坡岩土体原始应力平衡状态, 并给滑坡形成提供了空间条件; 第

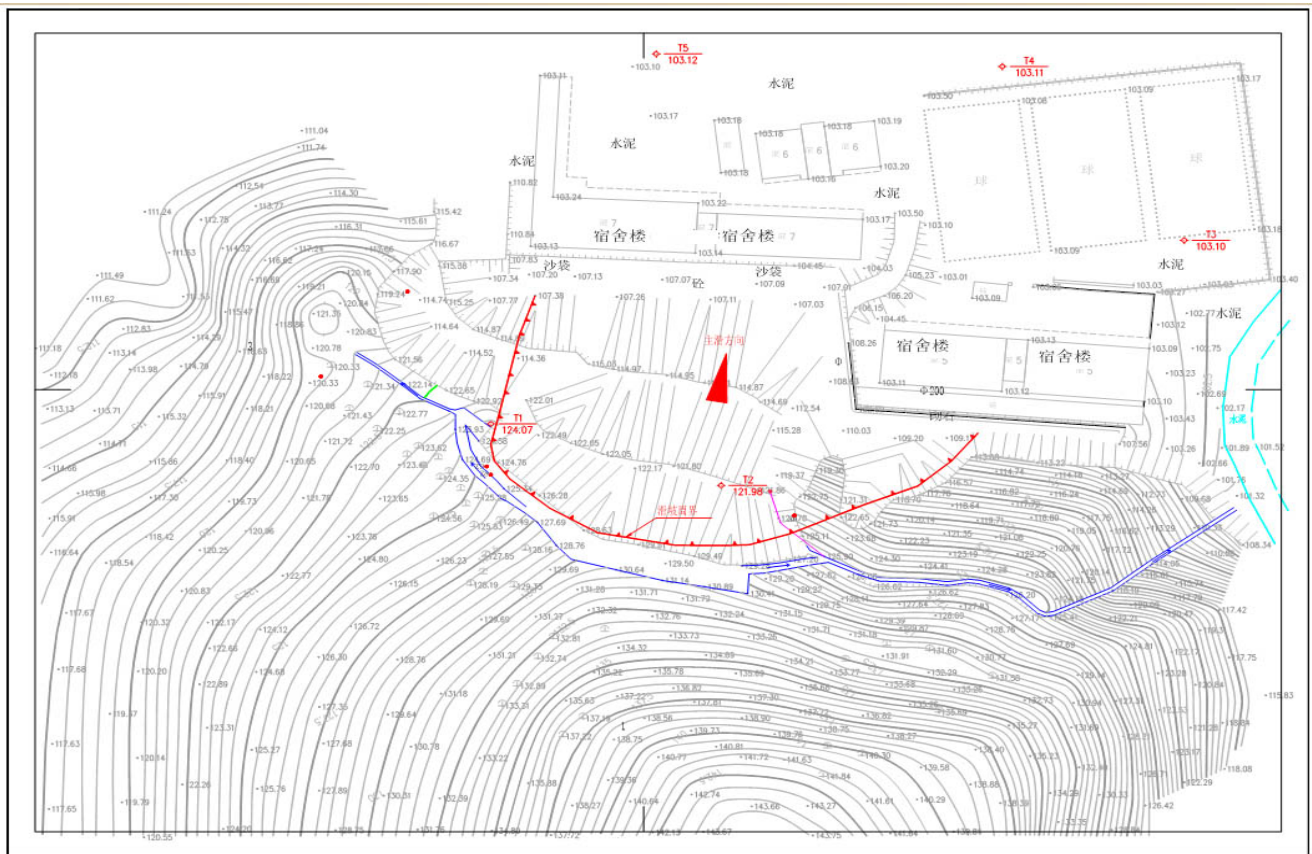


图2 场地地形图

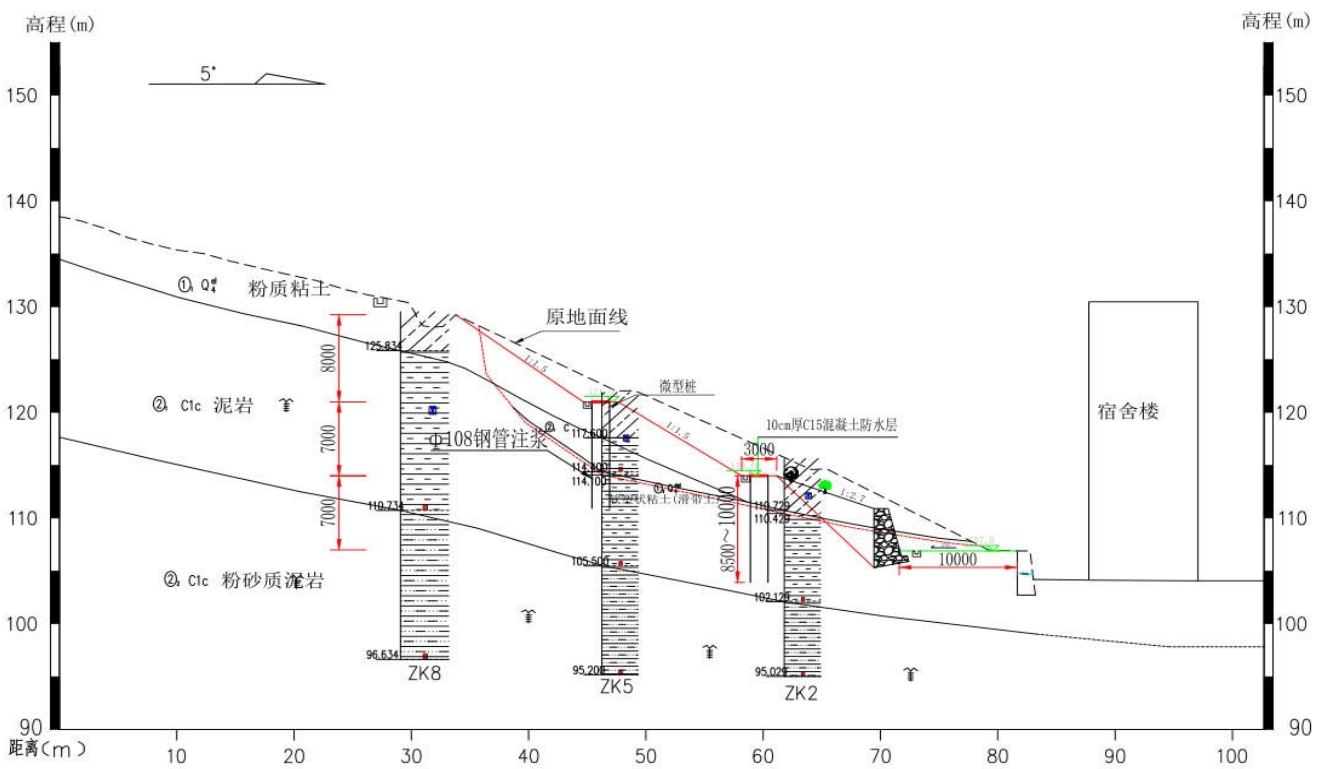


图3 滑坡治理工程示意剖面图

四系残坡积粉质粘土层厚度大,力学性能差,抗剪强度低,遇水易软化,稳定性差。其下部为泥岩,属于相对隔水层,强降雨时地表水直接渗入土体,沿强风化泥岩面及残坡积带流动,导致滑带土的粘聚力和内摩擦角显著下降;土体含水量增大,加大了土体的天然容重,使得下滑力增加,也是产生滑坡的直接原因^[7];治理区年降雨量大,暴雨暴发频率高、持续时间长,连续强降雨是诱发滑坡的主要外在因素。

2.5 滑坡推力计算

根据滑坡的变形特征,利用滑坡主剖面模拟其浅表层滑动状态,设定滑坡力学强度(残余值)的内摩擦角 $\Phi=20.1^\circ$,模拟滑坡稳定系数取 $F_s=0.99\sim 1.05$,反演滑动面的内聚力 C 。计算结果见表2。

表2 滑动面参数反算结果表

给定滑动面内摩擦角 $\Phi=20.1^\circ$							
稳定系数k	0.99	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
反算结果c	0.87	0.92	1.25	1.49	2.09	2.73	3.05

综合结果表明,该滑坡在天然工况处于欠稳定状态;强降雨饱水工况处于不稳定状态,计算剖面的稳定系数、稳定状态及滑坡推力结果列于表3。

表3 滑体稳定系数及滑坡推力计算结果表

工 况	滑坡推力(kN/m)	稳定系数	稳定状态
天然工况(I)	206.25	1.03	欠稳定
暴雨工况(II)	464.55	0.88	不稳定

2.6 抗滑方案比选

加固设计方案主要设计思路是“分段阻滑、强腰、固脚、排水”。经综合对比分析,选用截(排)水+坡率法+EM4型三维网喷播植草护坡+微型桩+重力挡土墙(图3)对该滑坡地质灾害点进行综合治理,其中微型桩布置在两级平台之上,用于“分段阻滑、强腰”,防止其在治理工程后出现局部复活再次滑动的情况。

2.7 微型桩内力计算及抗滑体系验算

2.7.1 计算参数如下

以第二级平台为例计算,设微型桩位置总滑坡总推力 $\Sigma N=392.79\text{KN}$;计算基准面地基土承载力设计值 $f=150\text{KPa}$;微型桩桩间距 $h=1.5\text{m}$,排间距 $b=1.5\text{m}$,计算基准面深度 $L_0=5.8\text{m}$ (滑动面底面之上深度)。桩与计算基准面以下土的粘结力强度 $\tau=90\text{KPa}$ 。

2.7.2 计算过程

(1) 微型桩结构内力计算

钢管截面积: $A_s = \pi \times (D^2 - d^2) \div 4 = 25.12\text{cm}^2$

单根微型桩截面积: $A_c = \pi \times (D/2)^2 = 132.66\text{cm}^2$

微型桩等效换算截面积: $A_p = (n - 1)A_s + A_c = 484.34$

cm^2

计算基准面处,微型桩组合等效换算截面惯性矩:

$I_{RRP} = mA_p \sum x^2 + \frac{bh^3}{12} = 2221717500\text{cm}^4$

计算基准面处,微型桩组合等效换算面积:

$A_{RRP} = mA_p S + bh = 216236\text{cm}^2$

计算基准面处,微型桩组合最大压应力:

$\sigma_{RRP} = \frac{N \times 10^3}{A_{RRP}} + \frac{M \times 10^5}{I_{RRP}} \times Y = 4.38\text{N/cm}^2 =$

43.8KPa

$\sigma_{RRP} < f = 150\text{KPa}$, 满足要求。

(2) 作用在砂浆和钢筋上压应力计算

砂浆压应力 $\sigma_{rR} = m\sigma_{RRP} = 8.76\text{MPa}$ 满足要求

钢管压应力 $\sigma_{SC} = n\sigma_R = 131.4\text{MPa}$ 满足要求

(3) 微型桩设计长度

计算基准面以下桩的锚固长度: $L_{r0} = \frac{A_c \sigma_R}{\pi D \tau \times 10^2}$

=3.16m

桩长 $L=L_0+L_{r0}=5.8+3.16=8.96$ 设计桩长取值9.0m。

(4) 抗滑稳定性验算

考虑钢筋弯曲影响的折减系数:

$\beta = \sqrt[4]{E_s / E_t} = \sqrt[4]{1 / 200} = 0.473$

钢筋抗剪强度: $[\tau] = 210\text{MPa} = 0.21\text{KN/mm}^2$

单根微型桩钢筋允许抗剪强度:

$\tau_{fa} = \beta[\tau]A_s = 0.473 \times 0.21 \times 2512 = 250\text{(KN)}$

微型桩组合结构允许抗剪强度: $R_{fa} = n\tau_{fa} = 2$

$\times 250 = 500\text{(KN)}$

微型桩组合结构安全系数: $F = R_{fa} / N = 500 / 392.79$

=1.27, 微型桩结构满足规范要求。

3 滑坡地质灾害治理效果及变形监测结果分析

该滑坡地质灾害治理工程经过综合治理,消除了地质灾害危险,治理效果达到了预期目的。

在同类型的滑坡治理工程中,使用微型桩组合抗滑结构与使用传统抗滑桩相比,不但施工速度快、施工作业面小、总造价更低,而且施工后监测的位移量也更小,稳定速度更快。表4为两种治理措施的位移监测数据对比分析,可以清晰的看到使用微型桩组合抗滑结构效果更好。

表4 监测位移量对比表

方案	位置	位移量(mm)												总和
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
本例	地表	2	2	1	3	1	1	0.5	0.4	0.1	0.1	0	0	11.1
	深层	2	2	1	3	1	1	0.5	0.3	0.2	0	0	0	11.0
其他	地表	3	3	2	4	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.1	0	18.9
	深层	3	2.5	2	4	3	2	1	0.5	0.2	0.1	0.1	0	18.4

4 结论

随着人类活动对自然环境的影响和破坏越来越剧烈,更多地质条件较差建设工程项目出现。对施工空间狭小、噪音、震动等要求较高的施工场地,微型桩作为一种新型的支挡结构体系^[8],可以充分发挥其优势。

本文结合实际项目的地质环境调查与分析,对微型桩支护体系在土质滑坡地质灾害治理工程中的应用进行了探究,通过研究分析微型桩加固原理,受力特性等,明确了微型桩在土质滑坡治理中的优势。结合等效截面法,根据一系列假设条件对微型桩支护体系进行受力分析、内力计算,确定了其水平承载能力和

抗剪切能力。经过综合治理,该处滑坡地质灾害已经得到了有效的治理,也取得了良好的社会、经济效益。

[参考文献]

[1]甄希翠.微型桩加固边坡的土拱效应及其支护设计研究[D].陕西:西安科技大学,2013.

[2]吴新星.边坡抗滑桩受力分析与结构优化[D].湖北:三峡大学,2010.

[3]孙厚超.微型组合桩结构抗滑机理分析及设计方法——以邛崃“平20”天然气井场地滑坡治理为例[D].四川:成都理工大学,2007.

[4]孙书伟,朱本珍.基于极限抗力分析的微型桩群加固土质边坡设计方法[J].岩土工程学报,2010,32(11):1671-1677.

[5]丁光文,王新.微型桩复合结构在滑坡整治中的应用[J].岩土工程技术,2004,18(1):47-50.

[6]周德培,王唤龙,孙宏伟.微型桩组合抗滑结构及其设计理论[J].岩石力学与工程学报,2009,28(07):1353-1362.

[7]苏媛媛,张占民,刘小丽.微型抗滑桩设计计算方法综述与探讨[J].岩土工程学报,2010,32(S1):223-228.

[8]冯君,周德培,江南,等.微型桩体系加固顺层岩质边坡的内力计算模式[J].岩石力学与工程学报,2006,(02):284-288.

作者简介:

宋允(1986—),女,汉族,河南泌阳县人,2010年7月毕业于华北水利水电学院地质工程专业,本科,高级工程师职称,主要研究方向为环境地质、灾害地质。